Ihrem

hochverehrten Senior

Carl Wilhelm Goettling

Doctor der Rechte und der Philosophie
Professor der classischen Philologie und Beredsamkeit
Grossherzoglich sächsischem Geheimen Hofrath

gratulirt

an seinem fünfzigjährigen Doctorjubiläum

den 23. Mai 1864

die philosophische Facultät der Universität Jena.

Inhalt:

Ueber Galilei als Begründer der mechanischen Physik
und über die Methode derselben

von

Dr. Carl Snell
d. Z. Decan der philosophischen Facultät.

Jena 1864.

Das Jahr, welches unserer Universität ein Jubiläum bringt, ist zugleich ein Jubiläumsjahr der Physik; denn es ist das dritte Säcularjahr der Geburt Galilei's. Ich ergreife daher die mir dargebotene Gelegenheit einer Jubiläumsschrift, um auch des Jubiläums der Physik zu gedenken, und die Bedeutung Galilei's für die mechanische Physik sowie die methodische Eigenthümlichkeit dieser von ihm begründeten Wissenschaft zur Sprache zu bringen. Es werden ohne Zweifel die Meisten diesem Vorhaben nicht die beste Erwartung entgegenbringen, weil sie glauben, dass es sich hierbei, besonders in Betreff des ersten Punktes, nur um Wiederholung von bereits vielmal Gesagtem handeln könne; denn fast Jedermann ist der Meinung, dass dasjenige, wodurch Galilei's physikalische Arbeiten epochemachend sind, weltbekannt sei. Wenn man freilich Galilei's Bedeutung und Verdienste für die Begründung der Physik in den kurzen Satz zusammenfassen will, dass er die Physik zu einer Erfahrungswissenschaft gemacht habe, so kann man das als richtig gelten lassen; es kommt dann nur darauf an, was man unter einer Erfahrungswissenschaft versteht und was man als die Bedingungen ihrer Möglichkeit denkt. Wenn man aber Galilei's Bedeutung für die Physik, wie nur allzu häufig und fast ganz gewöhnlich, näher dahin bestimmt, dass Galilei zuerst die Physik aus dem Gebiete der Speculation auf das Feld der Beobachtungen verpflanzt habe, und wenn man damit zugleich das Wesen der Physik als Erfahrungswissenschaft bezeichnet zu haben glaubt, so sagt man so ziemlich das reine Gegen-

theil von dem, was in Wahrheit statt hat. Indem ich mir hier zur Aufgabe mache, dieser weitverbreiteten Meinung entschieden entgegenzutreten, brauche ich demnach den Vorwurf, nur Bekanntes und oft Gesagtes vorzubringen, am wenigsten zu fürchten.

Niemand zieht es in Zweifel, dass Galilei es gewesen ist, welcher zu dem grossen Wissenschaftsbau, welchen wir heut zu Tage in der mechanischen Physik vor uns sehen, den festen Grund gelegt und den Plan dieses Gebäudes in seinem hohen Geiste gefasst hat, und dass auf diese Leistung der Hauptaccent zu legen ist, wenn von dem Epochemachenden in seinen Arbeiten und Forschungen, die sich ja nach vielen Seiten hin erstreckt haben, die Rede ist. Wir werden daher über die wahre Natur und die Bedeutung des Neuen in seinem Denken und Forschen uns am sichersten und leichtesten Rechenschaft geben können, wenn wir, die mechanische Physik selbst in's Auge fassend, uns über Wesen und Methode derselben zu verständigen suchen. Denn an ihren Früchten sollt ihr die Geister erkennen.

Es ist bekannt, dass wir in allen Thätigkeiten und Wechselwirkungen der Naturdinge drei verschiedene Hergänge oder Processe unterscheiden, in welche wir sämmtliche erfahrungsmässig vorliegende Naturerscheinungen einordnen können und die wir den mechanischen, den chemischen und den organischen Process nennen. Was hat man nun unter dem mechanischen Process zu verstehen? Wenn man bei aller Wechselwirkung von Naturdingen, und ein jeder Process beruht auf der Wechselwirkung Verschiedener, zu unterscheiden hat an den Dingen dasjenige, was nur Beziehung und zwar thätige reale Beziehung zu Anderem ist, von demjenigen, was die in Beziehung tretenden Dinge an sich sind, abgesehen von aller und jeder Beziehung zu Anderem, und was als das absolute Gegentheil der Beziehung als ihr eigentliches Selbst zu betrachten ist, mit dem sie in jede Beziehung eintreten, so stellt sich dieser Gegensatz in dem mechanischen Process so dar, dass dasjenige, was nach Abzug aller gegenseitigen Beziehungen als das reine Gegentheil derselben, gewissermassen als das Selbst der mechanisch wirkenden Naturdinge übrig bleibt, in allen Naturdingen

schlechthin Ein und Dasselbe ist, nämlich die Masse oder, was damit gleichbedeutend, der Trägheitswiderstand. In der Masse giebt es keine Unterschiede als blos quantitative. Selbst der abstracteste Gegensatz des Positiven und Negativen ist für sie nicht vorhanden. Sie ist einfache reine Position. Der chemische Process und der organische unterscheiden sich dadurch von dem mechanischen, dass dasjenige, was nach Abzug aller Beziehungen zu Anderem als das Selbst oder Ansich der Dinge übrig bleibt, in dem chemischen Process als ein Specifisches und in dem organischen Process als ein Individuelles zu denken ist. Diese Begriffe, die überdies der Schwierigkeiten genug darbieten, können wir hier, als nicht zu unserm Zwecke gehörig, bei Seite lassen.

Wie verschieden nun auch die Beziehungen sein mögen, durch welche Naturdinge in Wechselwirkung treten, welche Beziehungen eben das sind, was man gewöhnlich kurzweg Kräfte nennt, also wie verschieden auch die Kräfte sein und wie innig sie mit der specifischen Natur der Dinge verwachsen erscheinen mögen, so ist doch dasjenige, was die Kräfte bewirken im mechanischen Process, schlechthin überall dasselbe, nämlich die Ueberwindung des dem Wesen nach überall gleichen Trägheitswiderstands, d. h. die in einer Masse gesetzte Geschwindigkeits-Veränderung oder Beschleunigung. Es giebt zwar auch eine von der specifischen Natur der Dinge ganz unabhängige Beziehung aller Körper, welche ebenso allgemein und in allen Körpern die gleiche ist wie die Masse, und diese Beziehung kann begreiflicher Weise nur diejenige sein, deren Träger die Masse selbst ist, so dass das Maass für das im mechanischen Process hervortretende Selbst der Dinge zugleich das Maass ihrer Beziehung zu Anderem ist. Hierauf beruht bekanntlich die allgemeine Gravitation. Aber darauf, dass die Kräfte von den Massen abhängen oder überhaupt auf die innere Natur der Kräfte und der Quellen, aus welchen sie fliessen, kommt es gar nicht an beim mechanischen Process, sondern darauf, dass die Kräfte überall nur dasselbe wirken im mechanischen Process, nämlich Ueberwindung des Trägheitswiderstandes.

Daraus nun, dass alle Kräfte nichts wirken im mechanischen Process als Geschwindigkeitsveränderungen oder Beschleunigungen und Retardationen von Massen, dass Raum und Zeit rein mathematische Begriffe sind, und Geschwindigkeit und Beschleunigung als der erste und zweite Differentialquotient von Raum und Zeit desgleichen, dass jede Art von Abhängigkeit, welche unter den veränderlichen Grössenwerthen von zweien dieser vier Grössen angenommen wird, hinreicht die Abhängigkeit unter den veränderlichen Grössenwerthen jeder zweier Anderen auf rein mathematischem Wege zu finden, dass jeder in irgend einer Richtung stattfindenden Geschwindigkeit oder Beschleunigung, ohne das Geringste an der Bewegung zu ändern, substituirt werden können beliebig viele in beliebigen Richtungen stattfindende Geschwindigkeiten und Beschleunigungen, und umgekehrt den Vielen Eine, — aus diesem Allen folgt, dass alle Gesetze, welche die mechanische Physik als Naturgesetze hinstellt, im Grunde genommen nichts anderes sein können als Gesetze der reinen Bewegungslehre, wobei man die Gesetze des Gleichgewichts als diejenigen unter besonderen Bedingungen eintretenden speciellen Fälle der Bewegungsgesetze ansieht, in welchen die resultirenden Beschleunigungen aller Punkte eines Systems gleich Null sind. Welches in Bezug auf Massen und Kräfte ausgesprochene Naturgesetz der mechanischen Wirkung man auch denken mag, so giebt es doch, wenn man statt der Körpertheile nur bewegliche Punkte setzt, und ihnen diejenigen Beschleunigungen beilegt, welche den Körpertheilen vermöge der ihnen zugesprochenen Massen und Kräfte zukommen, ein auf rein apriorischem Wege aufzustellendes Gesetz der Bewegung eines Systems von Punkten, welches mit dem sogenannten Naturgesetz sich völlig deckt, und wenn auch mit ein wenig andern Worten, doch genau dasselbe ausspricht, was das Naturgesetz. Diese Behauptung würde nur dann Zweifel an ihrer Richtigkeit und Allgemeingültigkeit zulassen, wenn für die mechanische Physik eine halb auf Erfahrung sich stützende statische Grundlage, mit ihren unabhängig von der Bewegungslehre aufzustellenden Sätzen von dem Parallelogramm der Kräfte und vom Hebel, unentbehrlich wäre, wie

man lange dafür gehalten. Man kennt das unglückliche Schicksal dieser statischen Grundlage. Vierzig bis fünfzig verschiedene Beweise vom Parallelogramm der Kräfte und nicht viel weniger vom Hebel würden nicht aufgestellt worden sein, wenn Einer als genügend und überzeugend befunden worden wäre. Das Unglück dieser Beweise liegt darin, dass man unbestimmte und nicht genau definirbare, zum Theil aus der sinnlichen Anschauung stammende Vorstellungen in dieselben hineinnimmt, und doch, insofern man beweisen will, von dem Gedanken geleitet wird, dass es sich um ein a priori Nothwendiges handle. Von diesen Beweisen sagt Hegel, dessen sonstigen Aussprüchen über mechanische Physik wir übrigens nicht im Entferntesten beitreten wollen, mit Recht, dass sie Nichts beweisen als wie tief das Bedürfniss zu beweisen im menschlichen Geiste liegen muss, da er in Ermangelung eines wirklichen Beweises nach jedem Schatten von Beweis greift und ihn festzuhalten sucht. Es ist hier nicht der Ort, des Näheren auszuführen, wie durch Hineinnahme des nach allen seinen Modificationen und Beziehungen bestimmten Begriffs der Beschleunigung in die Phoronomie oder reine Bewegungslehre Alles das hinlänglich erreicht werden kann, was man mit der statischen Grundlage erreichen will. Wenn es auch noch an einer vollständigen Durchführung dieser Ansichten im Ganzen fehlt, so sind doch gelungene Versuche der Durchführung im Einzelnen hinlänglich vorhanden, dass der Einsichtige an der Möglichkeit einer befriedigenden allseitigen Durchführung nicht zweifeln kann. Dies zugegeben wird auch nicht zu zweifeln sein an der Behauptung, dass die Gesetze der mechanischen Physik als Gesetze, d. h. abgesehen von den in jedem Gesetz vorkommenden zufälligen Constanten, nichts enthalten können als Zusammenhänge von Zeit Raum Geschwindigkeiten und Beschleunigungen, und dass die Auffindung dieser Zusammenhänge nur auf rein demonstrativem Wege geschehen könne.

Wenn man auf die Geschichte der mechanischen Physik hinsehen will, so wird man finden, dass jeder grosse in ihrem Entwickelungsgang eingetretene Fortschritt bezeichnet und allein möglich geworden ist durch irgend eine wesentliche Erwei-

terung des reinen Apriori unserer Erkenntniss, und durch Auffindung von Zusammenhängen, welche ein bestimmtes Gebiet von Bewegungserscheinungen beherrschen. Um zunächst noch nicht von Galilei selbst zu reden, so besteht der nächste grosse durch Huyghens herbeigeführte Fortschritt der Physik darin, dass Huyghens die mit jeder krummlinigten Bewegung eines Punktes verbundene Tangential- und Normalbeschleunigung einer rein mathematischen Untersuchung und Bestimmung unterwarf; dass er die so gewonnenen Begriffe anwandte auf den Fall, in welchem bestimmte krummlinigte Bahnen, wie Kreis und Cycloide, und die als Function eines veränderlichen Bahnstücks ausgedrückte Tangential-Beschleunigung, insofern sie zugleich die Componirende einer constanten Parallelbeschleunigung ist, als die gegebenen Bestimmungsstücke vorkommen, und dass er endlich durch weitere Anwendung der so gefundenen Lehren auf oscillatorische Bewegungen in kleinen Kreisbahnen dazu gelangte, die vorausgesetzte constante Parallelbeschleunigung mit der Schwungzeit der Oscillationen und dem Radius der Kreisbahn in eine Gleichung zu bringen, welche natürlich immer noch rein apriorischen Ursprungs und Inhalts ist. Erst diese entdeckten rein mathematischen Zusammenhänge, diese Gesetze der reinen Bewegungslehre konnten ihn in den Stand setzen, aus Beobachtungen etwas zu schliessen, und durch Pendelversuche den numerischen Werth der Schwerkraft zu bestimmen, indem er die Beschleunigung der Schwere als eine constante Parallelbeschleunigung annahm. Wir wissen ferner, dass seine rein mathematisch gefassten Begriffe von Normalbeschleunigung ihm zuerst die Mittel boten, die sogenannten Centrifugalkräfte einer Bestimmung und Berechnung zu unterwerfen. Man bedenke, welche in höchster Abstraction gehaltenen Untersuchungen über die resultirende gemeinschaftliche Winkelgeschwindigkeit und Winkelbeschleunigung vieler ausdehnungslosen auf einer gedrehten graden Linie fixirten Punkte Huyghens vorausschicken musste, um zu den berühmten Gesetzen über die Trägheitsmomente sich drehender Körper und über die zusammengesetzten Pendel zu gelangen.

Dass der nächste auf die Arbeiten von Huyghens folgende und hauptsächlich an den Namen Newton geknüpfte grosse Fortschritt der Physik nur möglich geworden ist durch neue sehr bedeutende Vergrösserungen des Schatzes unseres apriorischen Wissens, ist überall leicht zu sehen. Nicht zu gedenken unzählig vieler hierher gehörigen Dinge in Newton's Werken, so wollen wir nur als an etwas Einfaches und Naheliegendes, an die auf die Keppler'schen Gesetze bezüglichen allgemeinen Theoreme der Bewegungslehre von Newton erinnern. Wenn Keppler nach vielen falschen Hypothesen über den Zusammenhang der veränderlichen Geschwindigkeit der Planeten mit geometrischen Bestimmungsstücken ihrer Bahn endlich die zufällig versuchte Hypothese, dass der von der Sonne gezogene Radiusvector der Planetenbahn in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume durchlaufen möchte, als die zutreffende fand, so stellte Newton den von aller Erfahrung ganz unabhängigen allgemein nothwendigen Satz auf, dass überall, wo ein Punkt sich so bewegt, dass seine resultirende Beschleunigung immer nach einem festen Punkte im Raume gerichtet ist, was man kurzweg eine Centralbewegung nennt, der nach diesem festen Punkt gezogene Radiusvector in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume beschreibt. Abgesehen davon, dass, wenn dieser apriorische Satz bekannt gewesen wäre, die Vermuthung, dass es sich bei der Planetenbewegung um Centralbewegungen handle, sehr nahe gelegen hätte, und dass Keppler aller Wahrscheinlichkeit nach gleich Anfangs, und nicht erst nach vierunddreissig vergeblichen Versuchen, die Planetenbewegung auf diese Hypothese geprüft hätte, so wär doch durch den Satz von Newton noch etwas ganz Anderes erreicht. Es folgt nämlich aus demselben, dass, welcherlei und wie viele Kräfte auch immer auf die Planeten wirken mögen, die Resultirende von allen Kräften immer nach dem Mittelpunkt der Sonne gerichtet ist. Dadurch wird man aus dem Gebiet der äusserlichen Regeln, die sich nur auf den Zusammenhang der in die Beobachtungen fallenden Bestimmungen beziehen, in die Region der inneren Thätigkeiten geführt; und dieser Uebergang auf das Innere der Natur, auf physische Thätigkeiten und Ursachen, ist überall schlech-

terdings nur zu vermitteln durch ein Zurückgehen auf das Innere des Geistes, auf ein Apriori. Keppler stellte ferner die ganz äusserliche geometrische Regel für die Planetenbewegung auf, dass die Bahnen Ellipsen seien, in deren Einem Brennpunkt die Sonne stehe. Verbindet man damit den vor und über aller Erfahrung stehenden Satz des Newton, dass ein beweglicher Punkt, dessen resultirende Beschleunigung nach einem festen Punkt im Raume gerichtet ist und im umgekehrten quadratischen Verhältniss der Entfernung von diesem Punkte steht, sich bewegen muss in einem Kegelschnitt mit dem festen Punkt als Brennpunkt, und den zweiten Satz desselben, dass ein Punkt, der sich in einem Kegelschnitt so bewegt, dass der nach einem Brennpunkt gezogene Radiusvector in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume beschreibt, nothwendig eine resultirende Beschleunigung haben muss, welche im umgekehrten quadratischen Verhältniss der Länge des Radiusvector steht, so folgt wieder etwas über die blos geometrischen Bestimmungen der Bahn weit hinausliegendes Innere, nämlich dies, dass die die Planeten nach dem Mittelpunkt der Sonne hintreibende Kraft im quadratischen Verhältniss der Entfernung von der Sonne abnimmt. Ebenso kann man aus der von Keppler aufgestellten Regel des Zusammenhangs der Umlaufszeiten der Planeten und ihrer mittleren Entfernungen von der Sonne durch einen anderen Satz des Newton den Uebergang zu den zu Grunde liegenden inneren Thätigkeiten und Kräften finden, wobei sich ergiebt, dass die Kräfte, welche die Planeten nach dem Mittelpunkt der Sonne treiben, proportional den Massen der Planeten wirken. Auf dem von Newton erstiegenen Standpunkt könnten ebenso gut die Gesetze der Bewegung von Planetensystemen, bei denen die anziehenden Kräfte nicht im umgekehrten quadratischen Verhältniss der Entfernungen und nicht im directen Verhältniss der Massen wirkten, untersucht und festgestellt werden, wenngleich in unserer Erfahrung sich Nichts denselben Entsprechendes findet. Diese Gesetze, als Gesetze blos möglicher Welten, würden ebenso vollkommen wahr sein als die Gesetze, welche unsere Erfahrungswelt beherrschen. Denn Wahrheit ist ein richtig bestimmter Zusammenhang von Voraussetzung und Folge,

und dieser Zusammenhang bleibt Wahrheit, mögen die Voraussetzungen in der Wirklichkeit eintreten oder nicht. Die apriorische Wahrheit an sich hat mit der Wirklichkeit nichts zu schaffen, obgleich sie auch die Wahrheit aller Wirklichkeit in sich enthält. Die Wahrheit in dieser Bedeutung, die zwar auf allen Gebieten des Denkens und Daseins ihre Berechtigung hat, die aber auf dem Gebiete der mechanischen Physik mit der vollkommensten Evidenz hervortritt, ist diejenige, welche Schelling, wenn er sich recht versteht, in der späteren Wendung seines Denkens der von ihm sogenannten negativen Philosophie als ihr Object zutheilt.

Indem ich in meinem Hinblick auf die geschichtliche Entwickelung der mechanischen Physik alle die glänzenden demonstrativen Eroberungen des 18. Jahrhunderts überspringe, will ich als letztes Beispiel von den durch Erweiterung unseres apriorischen Wissens herbeigeführten grossen Fortschritten der Physik noch die neuere Optik erwähnen. Nachdem alle Vorstellungen von gradlinigter Fortpflanzung des Lichts sammt ihren Modificationen sich als ungenügend erwiesen, nachdem ferner ebenso alle nur in Anlehnung an die sinnliche Anschauung gebildeten und noch unbestimmt gehaltenen Vorstellungen von Wellenbewegung als nicht zweckentsprechend befunden worden, und nachdem durch fortgesetztes Experimentiren ein solches buntes Gewirre von Erscheinungen zu Tage getreten war, dass tausend Jahre der emsigsten Zusammenstellung und Vergleichung der Phänomene nicht mehr hinreichend erscheinen konnten, auch nur ganz äusserliche Regeln der Erscheinungen so weit festzustellen, dass sie auf veränderte Umstände anwendbar sein könnten, da musste jeder Vernünftige sehen, dass hier nur eine grosse muthige That des demonstrativen Denkens Hülfe bringen könne. Fresnel war der Mann, der vor der Aufgabe, die Bewegung zu bestimmen, welche auf jedem Punkt im Raum in jedem Zeitpunkt vorhanden ist, wenn alle unendlich vielen Punkte einer Fläche ihre oscillatorische Bewegung gleichzeitig nach jedem Punkt im Raume fortpflanzen, nicht zurückbebte. Nachdem das innere Getriebe dieser unzählig vielen Thätigkeiten vollständig erkannt war, nachdem das feine Gewebe

dieser mannigfachen Wirkungen in jeder Raumfläche ausgebreitet vorlag, da erst konnte man vernünftiger Weise daran gehen, hinzusehen, ob so etwas in der uns umgebenden Natnr und speciell in den optischen Erscheinungen sich finde. Wenn man nun z. B. die mehreren Hunderte von Bildern, welche das durch ein Kreuzgitter gehende Licht der Rechnung gemäss als noch sichtbare geben müsste, alle findet an den Stellen, wo sie der Formel zufolge stehen sollen und genau mit den Graden der Lichtintensität und den Farbennüancen, wie die Formel dieselben vorschreibt, so kann und muss man schliessen, dass das Licht auf Bewegungen der Art, wie sie demonstrativ entwickelt worden, beruhe. Die nachfolgende experimentale Prüfung fügt zu dem Inhalt der Gesetze als solcher nichts hinzu, sondern sie zeigt nur, dass die entwickelten Gesetze zu denjenigen gehören, welche in unserer Erfahrungswelt zur Anwendung kommen, und lehrt uns, die numerischen Werthe der in dem Gesetz enthaltenen zufälligen Constanten zu bestimmen, welche Constanten in diesem Falle nichts Anderes sind als die Wellenlängen jeder besonderen Art von Licht, die natürlich nur empirisch zu finden sind, wenigstens nach allen unsern jetzigen Begriffen von Naturwissenschaft.

Wir können, ohne weitere Beispiele oder irgend gelehrte Ausführungen hinzuzufügen, aus dem Gesagten deutlich entnehmen, in wie weit und in welchem Sinne die mechanische Physik eine Erfahrungswissenschaft ist und welche Methode sie in Wahrheit befolgt. Wir fassen Beides zusammen in Folgendem: Alle der strengen Entwickelung der Gesetze vorausgehenden vorläufigen Versuche und Beobachtungen, welche die Natur und Art einer Klasse von Erscheinungen im Allgemeinen festzustellen suchen, können und sollen nur dazu dienen, auf diejenige Region unsers apriorischen Wissens hinzuweisen, in welcher muthmasslich die Gesetze dieser Klasse von Erscheinungen liegen, und das Feld unsers Denkens zu bezeichnen, welches zu diesem Zweck in Arbeit zu nehmen ist. In der Regel wird dieses Feld als ein noch unangebautes sich zeigen, weil Niemand Zeit Kräfte und Interesse hat, die mechanisch-physikalischen Gesetze blos möglicher Welten ohne alle Beziehung auf denk-

baren Gebrauch in Untersuchung zu nehmen. Hat man dieses Feld nun aber angebaut und aufgeschlossen, so ist es am Orte, die auf genaue Maassbestimmungen aller Art gerichteten exacten Experimente eintreten zu lassen, welche nun zeigen müssen erstens, ob die vermuthete Region unsers apriorischen Wissens die richtige war und die entwickelten Gesetze in dem zu erforschenden Erfahrungsgebiet angetroffen werden, und zweitens wie gross die in dem Gesetz nothwendig vorkommenden und für das Gesetz als solches zufälligen empirischen Constanten sind. Alle Maassbestimmungen der Experimente können für sich, ohne vorausgehende theoretische Feststellungen, gar nicht dienen, Gesetze zu finden, ausser in den seltenen Fällen, in welchen das Gesetz ein äusserst simples ist und etwa durch eine Potenzfunction einer Veränderlichen gegeben werden kann. In der Regel aber sind die Phänomene ein Compositum von vielen Thätigkeiten und Wirkungen, und dann können die Maassbestimmungen, weil sie nur das aus vielen bestimmenden Einflüssen Resultirende ungeschieden geben, zur Auffindung der Gesetze gar nichts helfen.

Diese ganz äusserliche Arbeit des Messens Wiegens u. dgl. ist es, welche Viele, die die exacten Wissenschaften immer im Munde führen, der Physik abgeguckt haben und darin die exacte Methode zu besitzen glauben. Davon, dass dieser Arbeit apriorische Untersuchungen und ein ausgebildetes Begriffssystem vorausgehen in der mechanischen Physik, die doch unter den exacten Wissenschaften hauptsächlich nur gemeint sein kann, haben sie keine Ahnung, wie ihr so gern zur Schau getragenes Princip des nackten Empirismus beweist. Was sie aber mit ihrer Weise, ohne leitende Ideen auf Alles loszufahren und an jedes Ding ein Paar Zahlen anzukleben, eine besonders für die organische Natur beliebt gewordene Weise, herstellen, ist nicht ein geordneter Wissenschaftsbau, sondern ein unermesslicher Kehrichthaufen der Wissenschaft, in welchem immer jede vorhergehende Schicht von der folgenden zu sofortiger ekler Vermoderung überdeckt wird.

Es wird oft von einer naturwissenschaftlichen Methode schlechthin und im All-

gemeinen als von einer bekannten Sache gesprochen. Viel Bestimmtes kann darunter nicht gedacht sein, da eine allgemeine naturwissenschaftliche Methode gar nicht existirt. Was die Methode der Wissenschaft des mechanischen Processes sei, das möchte wohl hinlänglich klar vorliegen. Aber die Wissenschaften des chemischen und organischen Processes haben in Bezug auf Methode ihr letztes Wort gewiss noch lange nicht gesprochen, und ihre bis jetzt angewandten Methoden sind unter sich sowohl als von der Methode der mechanischen Physik ganz verschieden. Man nennt diese eingebildete allgemeine naturwissenschaftliche Methode häufig Induction. Man unterlässt nur zu sagen, was Induction sei; und wenn ja etwas der Art gesagt wird, so sieht man sich in der ganzen Geschichte der Naturwissenschaften vergeblich nach Beispielen um, welche etwas Grosses als durch solche Induction zu Stande gekommen zeigten. Am unglücklichsten ist der Versuch ausgefallen, die mechanische Physik und ihren Entwickelungsgang unter diesem Gesichtspunkte zu betrachten. Was soll man aber endlich sagen, wenn man zu hören bekommt, dass Baco es gewesen ist, welcher den Naturwissenschaften ihre Methode vorgezeichnet habe? Man ist nur im Zweifel, worüber man sich mehr wundern soll, ob über die Unwissenheit oder über die Gedankenlosigkeit, die solcher Behauptung zu Grunde liegt.

Wenn es wahr ist, was im Eingang unserer Abhandlung ausgesprochen und übrigens allgemein zugestanden ist, dass Galilei das sichere Fundament der mechanischen Physik gelegt und das Wesen und die Aufgabe derselben zuerst klar erfasst hat, so ist es zufolge dessen, was über die Eigenthümlichkeit des von ihm begründeten Werkes im Vorhergehenden gesagt worden, fast im Voraus klar, von welcher Art das Forschen des Galilei auf diesem Gebiete sein musste und worin das Neue und Eigenthümliche seiner Denk- und Betrachtungsweise zu setzen ist. Man kann alle Hauptschritte, die Galilei that, verfolgen, und wird bemerken, dass seine Arbeit darin bestand, einestheils statt eines wüsten Haufens von Beobachtungen allgemeine das ganze Gebiet möglicher Beobachtungen beherrschende Principien, und anderntheils statt confuser auf unbestimmten Anschauungen fussender Vorstellungen scharfe demonstrativ

gebildete Begriffszusammenhänge einzuführen. Es giebt eine ganz allgemeine Thatsache der Beobachtung, so allgemein, dass kaum eine zweite in der Natur eine Vergleichung mit derselben aushält, die Thatsache nämlich, dass alle Bewegungen in der Natur allmälig erlahmen und nach längerer oder kürzerer Zeit ganz aufhören. Diese Thatsache hat auf alle Geister von Aristoteles bis zu Cartesius mit Centnerschwere gedrückt. Diese ausnahmlos an aller Bewegung beobachtete Eigenthümlichkeit wurde fast unwillkürlich als mit dem Wesen der Bewegung an sich nothwendig verbunden betrachtet, wenn man gleich diese Verbindung nicht in einen bestimmten Gedanken fassen noch viel weniger angeben konnte, in welchem Grad und welcher Stärke diese Eigenschaft mit jeder Bewegung verbunden sei. Für Galilei verlor dieses Allgemeinste aller unmittelbaren Naturbeobachtung sein ganzes Gewicht und seine Bedeutung, freilich erst sehr allmälig und nach grossen inneren Gedankenkämpfen. Galilei setzte jener Beobachtung und den an sie geknüpften Meinungen der Physiker und Philosophen entgegen die Behauptung, dass jeder Körper, welcher rein sich selbst überlassen und ohne alle Wechselwirkung mit andern im absolut leeren Raum sich bewegt, die Geschwindigkeit und die Richtung der Bewegung, die er in irgend einem Augenblick hat, unverändert in alle Ewigkeit beibehält. Das klingt nicht wie eine Beobachtung, ist vielmehr das reine Gegentheil jeder irgend möglichen und denkbaren Beobachtung. Man sieht gleich aus diesem ersten Satz, welche Bewandtniss es hat mit der Behauptung, dass Galilei die Physik auf das Feld der Beobachtungen verpflanzt habe. Dazu bedurfte es keines Galilei. Ihre Meinungen auf Beobachtungen zu stützen, das braucht man die Menschen überhaupt gar nicht zu lehren, das thun sie ganz von selbst; es ist das Leichteste Bequemste und Natürlichste. Ueber diesen ersten Grundsatz des Galilei kann die Frage entstehen, ob er ein a priori Nothwendiges ausspreche oder nicht. Die Physik befindet sich in Betreff dieser Frage in einer ganz eigenthümlichen Schwierigkeit. Denn einerseits kann man die Möglichkeit eines stricten Beweises des Satzes in der Form, wie er oben ausgesprochen ist, nicht einräumen, anderseits ist der Gebrauch, den die Physik von diesem Satze als einem allgemeinen Regulativ aller Er-

fahrung macht, durchaus verschieden von allem Gebrauch, den man von Erfahrungssätzen macht und zu machen berechtigt ist. Es fällt nämlich keinem Physiker ein in Fällen, wo gar keine Ursachen von Geschwindigkeitsveränderungen zu finden sind, auch nur die Möglichkeit zuzugeben, dass in solchen Fällen ein Körper ohne alle Wechselwirkung mit andern, nur sich selbst überlassen, eine Geschwindigkeitsveränderung annehmen könne. Würde der Satz als ein Erfahrungssatz angesehen, so müsste man diese Möglichkeit ohne Weiteres zugeben. Wir müssen die beregte Frage und Schwierigkeit hier unerörtert lassen, und bemerken nur kurz, dass dieselbe überhaupt nur zu lösen ist, wenn der Satz von der Trägheit nicht in der unvermittelten Form, wie er in der Physik ausgesprochen zu werden pflegt, sondern im Zusammenhang mit dem Begriff der Materie abgeleitet wird.

Da nach dem Satz von der Trägheit ein Körper eine Geschwindigkeitsveränderung absolut nicht anders erhalten kann, als durch seine Wechselwirkung mit andern Körpern, so stellte sich für Galilei die genaue mathematische Bestimmung des Begriffs der Geschwindigkeitsveränderung als das erste und wichtigste Erforderniss zu einer jeden Bestimmung und Berechnung von Wechselwirkungen oder von Kräften heraus. Geschwindigkeitsveränderung in ihren beiden Arten, als Beschleunigung und Retardation, wird gewöhnlich kurzweg Beschleunigung genannt, weil alle für die Geschwindigkeitsveränderungen zu gebenden mathematischen Ausdrücke sich nur durch ihre Vorzeichen als positive und negative unterscheiden, und man mithin beide Arten von Geschwindigkeitsveränderung als positive und negative Beschleunigung unterscheiden und in das Eine Wort Beschleunigung zusammenfassen kann. Also die scharfe Begriffsbestimmung von Beschleunigung, d. h. die Auffindung der in diesem Begriff nothwendig gesetzten Zusammenhänge von Zeit Raum und Geschwindigkeit, musste dem Galilei als die nächste und wichtigste Aufgabe erscheinen. Diese Aufgabe ist eine rein mathematische, und die dabei a priori zu findenden Zusammenhänge waren es also, welche als die Vorbedingung jeder auf irgend einem Erfahrungswege zu erhaltenden Naturkenntniss angesehen wurden. Da Beschleunigung nur darin bestehen kann, dass die in gleichen

Zeiten durchlaufenen Räume entweder immer grösser oder kleiner werden, und da die Untersuchung darüber durchaus nicht anders zu führen ist, als wenn man zuerst von dem Fall ausgeht, in welchem die in gleichen Zeiten durchlaufenen Räume immer um gleichviel grösser oder kleiner werden, oder von dem Fall der constanten Beschleunigung, so wandte sich Galilei zur Untersuchung der constanten Beschleunigung. Diese Untersuchung konnte natürlich, weil die in gleichen Zeiten durchlaufenen Räume der Voraussetzung gemäss eine arithmetische Progression bilden in der constanten Beschleunigung, durch die Lehren von der arithmetischen Reihe und durch Uebergang zu den Grenzwerthen der Summe und des allgemeinen Gliedes der Reihe für unendlich viele Glieder der Reihe geführt werden, wie Galilei bekanntlich auch gethan hat. Er kam auf diese Weise zunächst für den Fall, dass im angenommenen Anfangspunkt der Zeit noch keine Geschwindigkeit vorhanden ist, in Betreff der Zusammenhänge von Raum Zeit Geschwindigkeit und Beschleunigung zu den beiden phoronomischen Gleichungen $s = \frac{p}{2} t^2$ und $c = pt$, wobei die Anzahl der Zeiteinheiten durch t, die der Raumeinheiten durch s, die Geschwindigkeit durch c und die constante Beschleunigung durch p ausgedrückt ist. Wie geringfügig uns auch heute solche Resultate scheinen mögen und wie leicht die Untersuchung, so müssen wir doch zugeben, dass vor Galilei kein Mensch daran gedacht hat, die gegenseitige Abhängigkeit der Begriffe von Raum Zeit Geschwindigkeit und Beschleunigung für jede denkbare Bewegung a priori festzusetzen und dadurch die Vorbedingung zu schaffen für jeden möglichen aus Beobachtungen zu ziehenden Schluss.

Galilei blieb in Betreff der Bestimmung dieser Zusammenhänge nicht stehen bei dem ersten einfachsten Fall, in welchem im Anfangspunkt der Zeit keine Geschwindigkeit vorhanden ist, sondern er ging fort zu der unerlässlichen Verallgemeinerung, die Beschleunigung zu bestimmen, wenn auf irgend einem aus der Bewegung herausgegriffenen Raumintervall oder in irgend einem Zeitintervall eine Geschwindigkeitsveränderung von beliebiger Grösse stattgefunden hat. Indem er aus den beiden obigen Gleichungen zunächst noch die Gleichung $c^2 = 2ps$ durch Elimination von t ab-

eitete, kam er auf den bekannten Wegen zu den beiden allgemeinen Gleichungen $p = \frac{c^2 - c_,^2}{2 \Delta s}$ und $p = \frac{c - c_,}{\Delta t}$, in welchen Δt und Δs beliebige Zeit- und Raumintervalle und $c_,$ und c die im Anfangs- und Endpunkt dieser Zeit- und Raumintervalle vorhandenen Geschwindigkeiten vorstellen, und welche Gleichungen bekanntlich hinreichen, um aus den jedesmaligen Datis, durch welche eine mit constanter Beschleunigung erfolgende Bewegung bestimmt ist, die Werthe aller übrigen nicht gegebenen Stücke zu berechnen. So weit als hier angegeben erstreckte sich im Wesentlichen nur das reine Apriori der Bewegungslehre bei Galilei. Der Uebergang zu veränderlicher Beschleunigung und zu den Modificationen der Beschleunigung bei krummlinigten Bewegungen blieb späteren Zeiten mit ihren Erweiterungen des Gebiets der reinen Mathematik vorbehalten.

Galilei konnte nun daran gehen zu untersuchen, ob sich etwas diesen Gesetzen Entsprechendes d. h. eine mit constanter Beschleunigung erfolgende Bewegung unter den in der Natur vorkommenden Bewegungen finde. Er prüfte den freien Fall der Körper auf diese Annahme. Bei der Unvollkommenheit der Maassbestimmungen, welche dieses nur in kleinen Raumdistanzen auszuführende Experiment mit sich brachte, musste er die Fallbewegung für eine constante Beschleunigung halten, als welche sie ja auch ohne Fehler für die Anwendung angenommen werden kann bei den gewöhnlich auf der Oberfläche der Erde zu beobachtenden Fallbewegungen. Es wird häufig gesagt, Galilei hat die Fallgesetze entdeckt und ist dadurch der Reformator der Physik geworden. Es wird Jeder, der den wahren Sachverhalt nicht kennt, nicht recht begreifen können, wie die richtige Bestimmung eines einzelnen Thatsächlichen in der Natur so grosse Bedeutung haben könne. Das Wahre an der Sache ist: Galilei hat die allgemeinen Gesetze aller mit constanter Beschleunigung erfolgenden Bewegungen gefunden, und hat von denselben eine voreilige und falsche Anwendung auf den freien Fall der Körper gemacht, insofern sein Gesetz ein allgemeines auf beliebige Distanzen bezogenes sein soll. Aber das war richtig und zugleich sehr wichtig, was Galilei über die Gleichheit der Fallbeschleunigung aller Körper lehrte.

Es mag hier noch einer auf den freien Fall bezüglichen Untersuchung Galilei's gedacht werden, welche für seine Denkweise charakteristisch ist. Ueber den freien Fall der Körper wurde zu Galilei's Zeit vielfältig die Lehre aufgestellt, dass die Geschwindigkeit des fallenden Körpers um so grösser sei, je grösser der bereits durchfallene Raum sei. Jedermann würde einer solchen Behauptung gegenüber wohl gesagt haben, es käme darauf an zu probiren, ob es sich so mit den fallenden Körpern verhalte. Galilei hatte bereits viel zu grosses Vertrauen auf die Macht des Apriori in der Bewegungslehre, als dass er sich der Sache so gegenüber gestellt hätte. Er sagte, es kommt darauf an zu untersuchen, ob eine Bewegung, welche durch diese zwischen Raum und Geschwindigkeit festgesetzte Abhängigkeit bestimmt ist, überhaupt möglich ist, und wenn möglich, welche weiteren Bestimmungen sie an sich hat. Er fand durch eine scharfsinnige und mühsame Untersuchung, was zu finden uns heut zu Tage durch Auflösung der Gleichung $\frac{ds}{dt} = as$ freilich sehr leicht wäre, dass ein Punkt, der nach dem angenommenen Fallgesetz aus der Ruhe in Bewegung übergehen sollte, zum Durchlaufen eines noch so kleinen Raumtheils eine unendlich grosse Zeit gebrauchen würde und mithin gar nicht zur Bewegung kommen könnte. Jene angenommene Fallbewegung zeigte sich also schon im reinen Begriffe der Bewegung als eine unmögliche und zeigt zugleich, wie wenig man es oft einem Satze ansieht, dass er eine reine contradictio in adjecto ist. Denn wer fürchtet mit dem Satz, dass die Geschwindigkeit einer Bewegung proportional dem durchlaufenen Raume sei, einen baaren Unsinn ausgesprochen zu haben.

Die oben aufgestellten phoronomischen Gleichungen schliesslich in dynamische überzuführen und damit das Fundament der mechanischen Physik vollständig zu legen, konnte dem Galilei nicht schwer fallen. Da im mechanischen Process Kräfte nichts Anderes wirken in den Körpern als Beschleunigungen, und wir aus den letzteren allein auf die Kräfte schliessen und die Kräfte demnach den Beschleunigungen proportional setzen müssen; da ferner das Gewicht eines Körpers an jedem Punkte der Oberfläche der Erde eine bestimmte Kraft ist, mit welcher der Körper nach dem Mittelpunkte der Erde

strebt, und diese Kraft dem Körper die bekannte Beschleunigung des freien Falls zu ertheilen im Stande ist: so folgt ganz einfach, dass die Beschleunigung, welche irgend eine Kraft einem beliebigen Körper zu ertheilen vermag, um so viel mal kleiner oder grösser sein muss als die Beschleunigung des freien Falls, um wie viel mal die angewendete Kraft kleiner oder grösser ist als das Gewicht des Körpers. Stellen wir also die beliebige Kraft, welche auf irgend einen Körper wirkt, durch P vor, die ihm dadurch ertheilte Beschleunigung durch p, das Gewicht des Körpers durch G und die Beschleunigung des freien Falls durch g, so haben wir die Proportion $P:G=p:g$ oder $P=p\frac{G}{g}$. Diese ganz einfache Gleichung zeigt, wie man aus dem Gewicht eines Körpers und der ihm durch irgend eine Kraft ertheilten Beschleunigung diese Kraft selbst berechnen kann. Diese Gleichung würde aber für die Anwendung so gut wie nutzlos sein, wenn wir nicht die Beschleunigung p, die nicht direct gemessen werden kann, durch messbare Grössen Raum Zeit und Geschwindigkeit ausdrücken könnten. Dazu dienen nun gerade die phoronomischen Gleichungen. Setzt man in unsere Gleichung statt p die beiden oben gegebenen ihm gleichgeltenden Ausdrücke, so erhält man die beiden zur Berechnung aller constanten Kräfte hinreichenden beiden dynamischen Grundgleichungen des Galilei:

$$P=\frac{c^2-c_1^2}{2\Delta s}\cdot\frac{G}{g} \qquad P=\frac{c-c_1}{\Delta t}\cdot\frac{G}{g}$$

Wenn diese Gleichungen die Mittel darbieten aus beobachteten oder als gegeben vorausgesetzten Grössen auf die Grösse der wirksamen Kräfte zu schliessen, so kann man wohl sagen, dass durch dieselben die Physik zu einer Erfahrungswissenschaft gemacht worden ist. Denn Erfahrungen sind nichts anderes als Schlüsse aus Beobachtungen. Wenn man aber meint, dass es bei dieser Umbildung der Physik zur Erfahrungswissenschaft so ganz empirisch experimentirend und beobachtend zugegangen sei, und den Galilei, der von sich sagt, dass ihn die Philosophie zehnmal soviel Zeit in seinem Leben gekostet habe als die Mathematik, für einen Heros des gemeinen Empirismus glaubt ausgeben zu können, so ist man sehr im Irrthum. Und diesen Irrthum zu bekämpfen hatte ich mir vorgesetzt.

Druck von W. Ratz in Jena.